

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**

Hornicko – geologická fakulta

Institut Environmentálního inženýrství

**Vliv půdního prostředí na biodegradaci vybraných plastů**

**Influence of Soil Environment on Biodegradation of Selected Plastic**

Bakalářská práce

**Autor:**

Jan Koňář

**Vedoucí práce:** Ing. Jaroslav Závada, PhD.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Hornicko-geologická fakulta  
Institut environmentálního inženýrství

## **Zadání bakalářské práce**

Student:

**Jan Koňář**

Studijní program:

B2102 Nerostné suroviny

Studijní obor:

3904R005 Environmentální inženýrství

Téma:

Vliv půdního prostředí na biodegradaci vybraných plastů  
Influence of Soil Environment on Biodegradation of Selected Plastics

Zásady pro vypracování:

- 1) Úvod
- 2) Biodegradabilní plasty a jejich charakteristika
- 3) Experimentální část
- 4) Vyhodnocení výsledků
- 5) Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

FILÍPI, Bohdan. Plasty. Fakulta bezpečnostního inženýrství, 2003. ISBN 80-86634-13-2.

G. QUALLS, Robert. Biodegradability of Dissolved Organic Matter in Forest Throughfall, Soil Solution. 1992.

MÁCHOVÁ, Jana. Toxicita a biodegradabilita odpadů a látek významných ve vodním prostředí :b sborník referátů z 10. konference s mezinárodní účastí, České Budějovice 20.-22.8.2001. 2001. ISBN 8085887436.

HODEK, Tomáš: Kompostovatelné plasty v systému separace biologicky rozložitelných odpadů. Biom.cz [online]. [cit. 2013-10-30].

MOLÍK, Petr. Biodegradabilní plasty z kyseliny mléčné. 1994.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaroslav Závada, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2013

Datum odevzdání: 30.04.2014



prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.  
*vedoucí institutu*



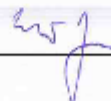
prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.  
*děkan fakulty*

### Prohlášení

- Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne: 28.4.2014

podpis autora:



**Anotace:**

Tato bakalářská práce se zabývá biodegradabilitou vybraných plastových materiálů v půdním prostředí. Cílem bylo vytvořit podmínky pro rozklad. V první části jsou popisovány vlastnosti plastů. V experimentální části je popsán rozklad daných plastových materiálů za daných podmínek v různých půdních typech.

**Klíčová slova:** Biodegradabilita, plast, polymer, půda

**Abstract:**

This bachelor thesis deals with biodegradability of selected plastic materials in the soil environment. The goal was to create the conditions for decomposition. The first part describes the properties of plastics. The experimental part describes the decomposition of the plastic material under the given conditions in the various soil types.

**Keywords:** Biodegradability, plastic, polymer, soil

## Obsah

1. Úvod .....	5
2. Cíl práce.....	6
3. Plasty .....	7
3.1. Dělení plastů .....	8
3.1.1. Základní dělení plastů.....	8
3.2. Zpracování plastů .....	14
3.3. Recyklace plastů .....	17
4. Biodegradabilita.....	20
4.1. Biodegradace plastů.....	21
4.2. Kompostovatelné plasty a jejich rozklad .....	22
4.2.1. Hodnocení kompostovatelných plastů.....	22
4.3. Perspektiva kompostovatelných plastů.....	25
4.4. Biodiverzita a výskyt mikroorganismů degradujících polymery .....	27
4.5. Faktory ovlivňující biologickou rozložitelnost plastů .....	27
4.6. Polymerní materiál .....	28
4.6.1. Biologicky rozložitelné polymery .....	29
4.6.2. Polymery se škrobem.....	29
4.7. Výhled do budoucnosti.....	30
5. Testování Biodegradability.....	31
5.1. Půdní testy .....	31
5.2. Burial Testy .....	32
5.3. Kompostování jako proces biodegradace .....	32
5.4. Test v prostředí kompostu .....	33
5.5. Standartní kompostovací test.....	33
5.6. CO <sub>2</sub> kompostovací test .....	34

5.7. Test v prostředí vermikompostu .....	34
5.8. Anaerobní degradace .....	34
6. Experimentální část .....	35
6.1. Popis práce a vzorků .....	35
6.2. Vyhodnocení .....	39
7. Závěr .....	41
8. Seznam literatury .....	42
9. Přílohy .....	48
9.1. Seznam obrázků .....	48
9.2. Seznam tabulek .....	49

### **Seznam použitých zkratek:**

PVC	Polyvinylchlorid
EP	Epoxid
BISFENOL A	Toxická látka
KRALEX	Druh kaučuku
ADITIVA	Vylepšující látky
FLEECE	Neprodyšný materiál
AGAR	Přírodní polysacharid
ISO	Mezinárodní norma
PHB	Polyhydroxyalkanoát
C/N	Poměr dusíku a uhlíku
PPK	Primární papírenský kal
SPB	Sekundární papírenský kal
PCL	Polykaprolakton
PET	Polyetylentereftalát
PE	Polyetylen
ASTM	Propustnost vodních par
HDPE	Tvrdý polyetylen
LDPE	Měkký polyetylen
PP	Polypropylen
PS	Ostatní plasty
PC	Polykarbonáty



PTFE	Polytetrafluorethylen
PA	Polyamidy
PUR	Polyeretan
BR	Polydien
TDPA	TotallyDegradablePlasticAdditives
PCR	Post Consumer Recycling

## 1. Úvod

Po době kamenné, železné a bronzové nyní přichází „DOBA PLASTŮ“. Plast nebo jinak umělá hmota je polysyntetická látka, která se skládá z množství stále se opakujících molekul. Mnohdy jsou plasty považovány za látky nebezpečné, to je ale věci názoru. Plasty jsou nebezpečné pro lidstvo a životní prostředí především tím, jak se s nimi zachází. Nárůst spotřeby plastů se stále enormně zvyšuje a prozatím se nedaří příliš výrazně regulovat. Dá se tedy říci, že plastům a umělým hmotám patří přítomnost i nejbližší budoucnost. Dle OSN se spotřeba umělých hmot v roce 1950 z 5,5 milionů tun zvýšila na zhruba 110 milionů tun v roce 2009. Možným řešením by byla práce s bio-plasty [1].

Bio-plasty jsou materiály z rostlinných polysacharidů. Nejčastěji se vyrábí pomocí zemědělských produktů (např. kukuřice, tabák, sója, brambory či cukrová třtina) a pomocí přírodních surovin (např. celulóza). Hlavním pozitivem je to, že výroba je energeticky nenáročná a dále, že mají bio-plasty blíže k přírodě a člověku – při rozkladu se z nich neuvolňují látky nebezpečné nebo látky škodlivé, jsou biologicky rozložitelné a prodyšné. Bio-plasty pochází z obnovitelných přírodních zdrojů [1].

Lze ovšem vytknout, že plodiny, díky kterým lze bio-plasty vyrábět, konkurují produkci potravin. Toto vede k nešetrné výrobě zemědělských potravin a k nutnosti využívání geneticky modifikovaných organismů, omezení dostupnosti potravin pro sociálně slabší obyvatelstvo. Bio-plasty mohou nahradit většinu těch plastů, se kterými je člověk běžně ve styku (např.: zahrádkářské fólie, hračky pro domácí zvířata, zdravotně nezávadné potravinové fólie). Je tedy smutné, že se ještě v dnešní době některé potravinové výrobky balí i do PVC [2].

## **2. Cíl práce**

Cílem této bakalářské práce je ověření biodegradability u vybraných plastových materiálů ve vybraných půdních typech. Byly provedeny testy, během kterých se plastové biodegradabilní materiály vložily na určitý časový úsek do třech půdních typů. Pracovní postupy a zvolené podmínky během testu vychází z poznatků získaných z literární rešerše. Jako testované vzorky sloužily spotřební plastové obaly.

### 3. Plasty

Je označení pro plastické hmoty nebo obecněji umělé hmoty. Označují syntetické nebo polymerní materiály. Jsou to materiály, které mají řadu vlastností (např. odolnost vůči stárnutí a opotřebením, vysoká houževnatost a pružnost). Jsou formovány do různých předmětů anebo vláken. Důležitou vlastností je plasticita. Jejich výhodou je nízká hustota, vysoká chemická odolnost, a dobrá zpracovatelnost energeticky méně náročnými technologiemi vhodnými pro masovou výrobu (lití, lisování). Díky těmto vlastnostem našly využití téměř v každém průmyslovém odvětví a v každé domácnosti [3].

První plasty byly vynalezeny v první polovině minulého století. Za nejstarší plast se považuje celuloid – vyráběný z celulózy. Díky své vysoké hořlavosti má v dnešní době omezené možnosti použití. Později byl vynalezen bakelit, ten se používá neustále (např. zásuvky), protože je výborný izolant. Po bakelitu přichází PVC (polyvinylchlorid), což představovalo na svou dobu dosud nevídané vlastnosti. Ovšem největší rozmach ve výrobě plastů nastal po skončení II. Světové války. Při tzv. prvovýrobě se s nimi nepočítalo jako s náhradou za přírodní materiály, avšak začaly se používat trvale díky svým lepším vlastnostem. Z plastů se dále vyrábí polymerní směsi (slitiny). Jejich využití je v průmyslu automobilovém (přístrojové desky, nárazníky). V Elektrotechnice (televize, vypínače, zásuvky, mobilní telefony a zařízení). Plasty jsou v dnešní době téměř všude, jsou obsaženy na povrchu kosmické rakety (povrch, který odolává vysokým teplotám), právě tak jako v tenisové raketě [3].

Jedinečnou vlastností plastů je schopnost odolávat různým chemikáliím, vodě a také povětrnostním vlivům. Negativní vlastností je vysoká stálost v životních složkách. Volně položené obaly z plastů nebo jiné zbytky těchto hmot znečišťují životní prostředí, protože se plasty samy nerozkládají. Proto se vyrábí biologicky rozložitelné plasty z takových materiálů, které se činností půdního edafonu přetvoří na látky, které využijí rostliny ke své výživě. Plasty se volně v přírodě nevyskytují, ale vyrábí se v průmyslových závodech složitým výrobním způsobem. Při vzniku mají tekutý charakter a dají se snadno formovat, v konečném stavu jsou pevné. Snadno dosažitelné jsou polyvinylchlorid a polyetylén, z nichž se vyrábí řada věcí [3].

### 3.1. Dělení plastů

Plasty se rozlišují podle základního dělení na plasty přírodní a plasty umělé. Dle tepelného zpracování je lze dělit na termosety a termoplasty.

#### 3.1.1. Základní dělení plastů

##### Plasty přírodní:

##### **Celuloid:**

Tvrdý, pružný termoplast, dá se tvarovat při 80° - 100° C. Nevýhoda je vysoká hořlavost, nerozpustnost v benzínu, ale v esterech a ketonech. Odolává zředěným kyselinám a louhům. Použití: kancelářské a toaletní potřeby, optika [3].

##### **Viskozofolie (celofán):**

Čirý, nepropustný pro tuky, benzín, oleje a páry, málo odolný vodě. K jeho výrobě se používá celulóza a sirouhlík. Použití: Zpracovaný se prodává ve formě rolí nebo listů (např. role jako obalový materiál potravin), výroba kordů u pneumatik [3].

##### **Vulkanfibr:**

Houževnatý, šedý, bílý, červený materiál. Je to nejstarší plast. Vyrábí se z neklíženého papíru. Je hydrofobický elektro-izolant, dá se lakovat, strojově obrábět, ohýbat za studena. Použití: Zpracovaný se prodává jako desky, trubky, tyče [3].

##### **Umělá rohovina:**

Lesklý materiál, vzniká z formaldehydu, barviva a glycerinu. Je lesklý a dá se třískově obrábět. Použití: tyče, desky, trubky, galanterie, psací potřeby [3].

##### Plasty umělé:

##### **Polyetylen (PE):**

Je lehčí než voda, výborný elektroizolační materiál, odolává chemikáliím. Vyrábí se z něj desky a fólie. Díky dobrým vlastnostem a zpracování se používá ve spoustě odvětví. Použití:

obalová technika (balení potravin a zboží), v domácnostech (vysavače, televize, rádia), Měkký polyetylén lze ohýbat i za mrazu (hadice, potrubí) [3].

### **Polystyren (PS):**

Čirý, tvrdý, křehký, nulová nasákavost, dá se obrábět i lepit. Při 140°C lze tvarovat dielektrikem. Použití: houževnatý polystyren (spotřební zboží), běžný polystyren (hračky, bižuterie, obaly), chemicky odolný polystyren (ventilátory, akumulátory) [3].

### **Polyvinylchlorid (PVC):**

Bílý prášek, ve vodě nerozpustný, odolává chemikáliím, do 45°C je teplotně stálý, při 150°C se dá tvarovat. Značí se jako PVC nebo igelit. Je nehořlavý (hoří jen v přímém plameni), je fyziologicky nenáročný a nezávadný. Nezpracovává se samostatně – přidávají se zde změkčovadla, pigmenty a maziva zlepšující jeho vlastnosti. Použití: tvrdý PVC (fólie, desky, trubky, profily), měkčený PVC (umělé kůže, hračky, míče) dále těsnění, plastické kůže, pláštěnky, láhve, trubky, hračky) [3].

### **Polyvinylfluorid (PVF):**

Šedobílý termoplast, chemicky stálý, fyziologicky nezávadný. Díky výborným fyzikálním vlastnostem se dá používat při teplotách -200°C až +250°C. Nad teplotu 250°C se rozkládá za vzniku jedovatých látek. Vyrábí se z něj trubky, tyče, fólie, ochrana povrchu materiálů. Použití: kosmonautika, elektrotechnika, strojírenství (ložiska), teflon [3].

### **Polyetylén tereftalát (PET):**

Jedná se o umělou hmotu, která se nejvíce používá k výrobě PET lahví. PET je mechanicky dobře zpracovatelný a jako recyklát v čisté formě je žádaný. Svou čírost a hodnotu ztrácí postupně časem. Při zahřátí klesá jeho molární hmotnost a materiál postupně degraduje a poté z něj není možno vyrábět lahve. Primárně z recyklátu vzniká vlákno pro další zpracování. Dále se vyrábí koberce, bundy a další oblečení [1].

### **Polyetylén hustý (HDPE):**

Díky jeho chemickým vlastnostem se z něj vyrábí víčka od nápojových lahví nebo potravinářské obaly. Je relativně odolný vůči chemikáliím, používá se tedy i k výrobě různých obalů na čisticí a dezinfekční prostředky. V minulosti se z něj také vyráběly kloubní náhrady. Je to účinný elektricky izolant. Z recyklátu se dají také vyrobit dětská plastová hřiště, plastové ploty, prolézačky [1].

### **Polyetylén nehmotý (LDPE):**

Je měkčí než HDPE a proto se z něj vyrábí měkčí obaly. Nejčastěji použity na mražené výrobky nebo mikroten. Také se vyrábějí pytle na smetí, fólie, plachty, odpadkové koše nebo zahradní nábytek [1].

### **Polypropylen (PP):**

Polypropylen. Je to pružný plast, který se využívá pro výrobu pružných obalů (tuby, obaly na tekutiny a kosmetiku) a umělých textilních vláken. Z recyklátu se dále vyrábí obaly na kazety, CD a DVD, kolečka na sekačky na trávu, kočárky nebo škrabky na odstraňování námrazy [1].

### **Polykarbonáty (PC):**

Polykarbonáty. Jsou v CD nebo v DVD nosičích. Dále jsou součástí kontaktních čoček, nebo se používají k výrobě neprůstřelných skel. Recyklují se většinou „downcyclingem“ nebo drcením. Obsahují Bisfenol A, ten oslabuje imunitní systém a během nitroděložního vývoje může negativně ovlivňovat vývoj prsní tkáně a tak zvyšovat výskyt rakoviny prsu. Bisfenol A způsobuje také úbytek spermií [1].

### **Polytetrafluoretylen (PTFE):**

Polytetrafluoretylen. Patří zde například teflon nebo goretex. Tato umělá hmota se používá při výrobě tzv. membránových textilií a tepelně odolných povrchů. Dále jsou obsaženy v ložiskách, trubkách a expandovaném teflonu [1].

### **Polyamidy (PA):**

Polyamidy. Umělé hmoty známé jako silon, nylon a kevlar. Jsou pevné houževnaté a tvrdé. Řadí se k vynikajícím konstrukčním plastům s vysokou odolností proti větru. Využití tedy mají především v textilním průmyslu. Ve strojírenství se využívají k výrobě ložisek a kladek [1].

### **Polyuretan (PUR):**

Polyuretan. Veliká skupina polymerů s vysokou variabilitou. Nejznámějším produktem je molitan. Další využití je výroba pěnových izolací, tepelných a zvukových izolací nebo nátěrových hmot. Velké množství polyuretanů je produkováno ve formě termoplastických elastomerů. Ty slouží k výrobě lyžařských bot nebo sněhových pluhů [1].

### **Polydien (BR):**

Polydien. Patří zde umělé hmoty jako neopren nebo kralex. Polydieny se dále používají k výrobě těsnění, hadic, dopravních pásů, pneumatik a podlahových krytin [1].

### **Epoxidy (EP):**

Epoxidy. Epoxidové pryskyřice se nejčastěji vyskytují v barvách, elektro-izolacích, lepidlech a skelných laminátech [1].



## PŘEHLED RECYKLAČNÍCH ZNAČEK

<p><b>PET</b> <b>POLYETYLEÁN TEREFTALÁT.</b> PET lahve, polyesterové tkaniny, některé obaly od mléčných nápojů, malé elektroniky ...</p> <p><b>HDPE</b> <b>TVRÝ POLYETYLEN.</b> Odolný plast. Obaly od čistících prostředků, šamponů, sprchových gelů, kanystry, víčka od PET lahví.</p> <p><b>PVC</b> <b>PVC - POLYVINYLCHLORID.</b> Plastové vodovodní trubky, linoleum ...</p> <p><b>LDPE</b> <b>MĚKKÝ POLYETYLEN.</b> Měkký plast. Igelitové tašky, fólie, obaly od sušenek, apod.</p> <p><b>PP</b> <b>POLYPROPYLEN.</b> Pružný a odolný plast. Plastové obaly od kečupu, tuby (zubní pasty, krémy).</p> <p><b>PS</b> <b>POLYSTYREN.</b> Bílý <b>pěnový</b> Podlázky od masných výrobků, izolace, ochrana zboží <b>Temavý tuhý</b> nápojové kelímky, plastové nádoby, misky, obaly od elektroniky.</p> <p><b>PS</b> <b>OSTATNÍ PLASTY.</b> Tato značka se používá pokud není obal vyroben z některých 6 typů uvedených výše, popřípadě pro kombinované obaly.</p>	<p><b>GL</b> <b>BÍLÉ SKLO.</b> Průhledné sklenice od kompotů, zavařenin, a lahve od nápojů...</p> <p><b>GL</b> <b>BAREVNÉ SKLO.</b> Lahve od piva, ostatních nápojů a výrobků, které nejsou průhledné. Patří sem i tabulové sklo (z oken).</p> <p><b>FE 40</b> OCEL. <b>ALU 41</b> HLINÍK <b>FOR 50</b> DŘEVO <b>FOR 51</b> KOREK <b>TEX 60</b> BAVLNA <b>TEX 61</b> JUTA</p> <p style="text-align: center;"><b>KOMBINOVANÉ OBALY</b></p> <p><b>C/??? 80</b> PAPIR A LEPENKA / RÚZNÉ KOVY. <b>C/??? 81</b> PAPIR A LEPENKA / PLAST <b>C/??? 82</b> PAPIR A LEPENKA / HLINÍK <b>C/??? 83</b> PAPIR A LEPENKA / OCELOVÝ POCÍNOVANÝ PLECH <b>C/??? 84</b> PAPIR A LEPENKA / PLAST / HLINÍK <b>C/??? 85</b> PAPIR A LEPENKA / PLAST / HLINÍK / OCELOVÝ POCÍNOVANÝ PLECH <b>C/??? 90</b> PLAST / HLINÍK <b>C/??? 91</b> PLAST / OCELOVÝ POCÍNOVANÝ PLECH <b>C/??? 92</b> PLAST / RÚZNÉ KOVY <b>C/??? 95</b> SKLO / PLAST <b>C/??? 96</b> SKLO / HLINÍK <b>C/??? 97</b> SKLO / OCELOVÝ POCÍNOVANÝ PLECH <b>C/??? 98</b> SKLO / RÚZNÉ KOVY</p> <p><small>Za lomítkem je zpravidla označení materiálu, který v této kombinaci převládá.</small></p>	<p style="color: red;"><b>CO NERECYKLUJEME</b></p> <p>PVC, molitan, gumu varné sklo, plexislo, sexysklo, autosklo, porcelán papír znečištěný od barev, chemikálií, mastnoty</p> <p>Z lahví a obalů není třeba odstraňovat víčka ani etikety. Z papíru není třeba odstraňovat kovové spony Obaly od potravin je vhodné omýt (z hygienických důvodů)</p> <p style="color: red;"><b>RECYKLUJTE A VYUŽÍVEJTE ZPĚTNÝ ODBĚR</b></p> <p>Vybité baterie je dnes možné odevzdat téměř ve všech prodejnách elektro, některých supermarketech a drogeriích.</p> <p>Vysloužilé elektrospotřebiče, nábytek, koberce, matrace, stavební odpad vracejte v rámci zpětného odběru nebo je dopravte do sběrného dvora.</p> <p>Zacházejte zodpovědně s nebezpečnými odpady. (zbytky barev, hnojiv, ředidel, čistících prostředků)</p> <p>Nelamte si hlavu se zbytečností. Pokud odpad nepoznáte podle recyklační značky nebo si nejste úplně jisti, vhodte ho do kontejneru podle uvážení a co s ním ponechte na zpracovatelích.</p> <p style="background-color: green; color: white; text-align: center; padding: 5px;"><b>WWW.TRIDENIODPADU.CZ</b></p>
<p><b>PAP</b> <b>VLNITÁ / HLADKÁ LEPENKA.</b> Součást krabic a balení. <b>20 21</b></p> <p><b>PAP</b> <b>OSTATNÍ PAPIR.</b> ... Ostatní papír. <b>22</b></p> <p><b>CIPAP</b> <b>VÍCEVRSTVÉ OBALY.</b> Krabice od džusů, mléka či laciného vína. <b>81 84</b></p>		

Obrázek 1 Přehled recyklačních značek

## Dělení dle tepelného zpracování

### Termoplasty:

Jsou to tepelně tvárné plasty. Při zvýšení nebo snížení teploty jsou znovu zpracovatelné. Znamé jako materiály pro výrobu mechanických součástek. Patří zde: Polystyreny, Polyetylen, PVC, Organické sklo (viz tabulka 1). Použití: kryty, nosníky, fólie [4].

### Reaktoplasty (termosety):

Po ohřátí je již nelze zpracovat. Během prvního zpracování přecházejí zahříváním nejprve do plastického stavu, dalším zahříváním se jejich vytvrdí chemickou reakcí. Při opakovaném zahřívání se již chemicky nemění, ale při ohřevu na vysokou teplotu mohou zuhelnatět. Použití: lepidla, laky, tmely, umělá kůže [4].

Tabulka 1 Dělení plastů dle teplotního zpracování

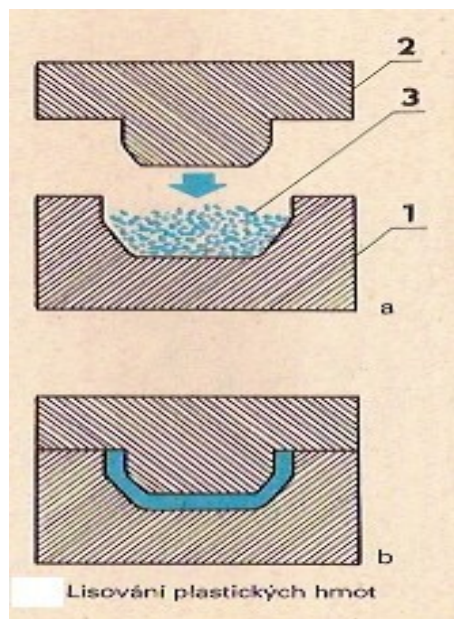
Skupina	Změna vlastností	Příklad plastů	Využití
Termoplasty (tepelně tvárné)	Působením tepla měknou a působením chladu opět tuhnou, mění se vratně	Polystyrén PVC Organické sklo	Spotřební průmysl
Reaktoplasty (tepelně tvrditelné)	Působením tepla dochází k chemické reakci a plasty se vytvrzují, mění se nevratně do netavitelného a nerozpustného stavu	Kartit Umakart Epoxidy Skléné lamináty Polyestery	Strojírenství Doprava Chemický průmysl

### 3.2. Zpracování plastů

V továrnách a průmyslových výrobnách se plastové hmoty zpracovávají lisováním, vytlačováním, válcováním, vyfukováním a tvarováním. Uplatňuje se zde působení tepla a tlaku [5].

#### Lisování

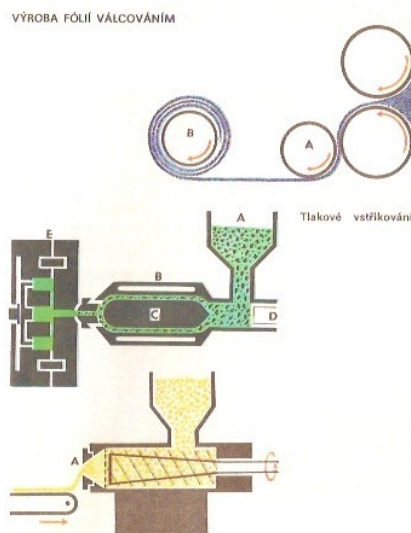
Zpracování termoplastů za pomoci tlaku a tepla. Používá se přímé lisování termoplastů v lisových vyhřívaných formách. Tvárnice (1) se naplní plastickou hmotou, k ní se zavede tvárník (2) a hmota se zalisuje. K výslednému vytvrzení dojde ochlazením (termoplast) nebo ohřevem (reaktoplast) [5].



Obrázek 2 Lisování

## Válcování

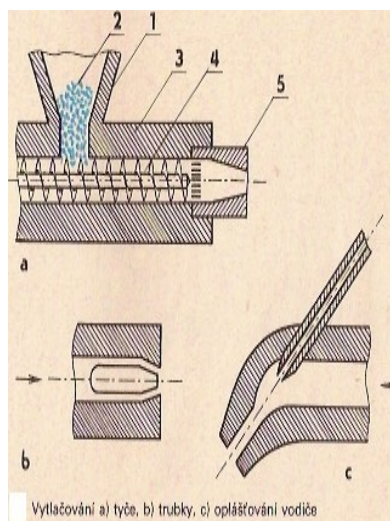
Zpracování termoplastů. Takto se vyrábí fólie, podlahové krytiny a ubrusy. Plastová hmota je unášena vyhřívanými válci. Díky teplu hmota měkne a stává se stejnorodou [5].



Obrázek 3 Válcování

## Vytlačování

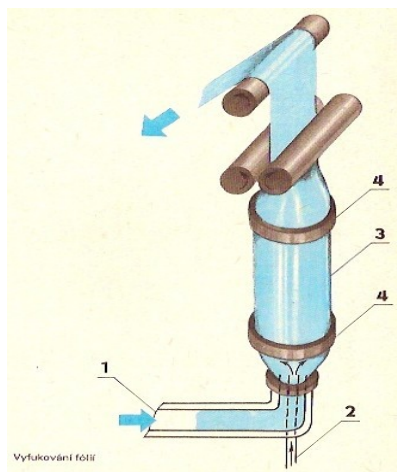
Zpracování termoplastů. Takto se vyrábí tyče, trubky či vodiče. Z násypky (1) se přivede termoplast (2) do vyhřívané komory (3). V komoře změkne a je „šnekem“ (4) dopraven k vytlačovací hlavě (5), kde vstupuje do volného prostoru, ochlazuje se, tuhne [5].



Obrázek 4 Vytlačování

## Vyfukování

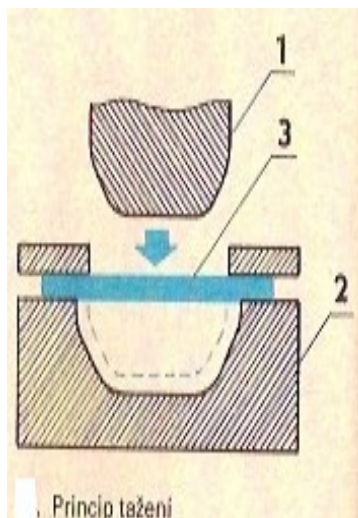
Zpracování termoplastů. Takto se vyrábí polyethylenové fólie. Z hlavy (1) vytlačovacího stroje vychází měkká ohřátá trubka z termoplastu. Stlačený vzduch přes trysku (2) vyfukuje trubku do tvaru pytle (3), jehož šířka je určena kalibračním zařízením (4) [5].



Obrázek 5 Vyfukování

## Tažení

Zpracování termoplastů. Takto se vyrábí mělké misky z polystyrénu a PVC. Zahřátý list termoplastu (3) je pohyblivým tvárníkem (1) vtažen do dutiny tvárnice (2) [5].



Obrázek 6 Tažení

### 3.3. Recyklace plastů

Recyklace plastů je proces, při kterém dochází k renovaci plastů zbytkových nebo odpadních a zařazení těchto materiálů do užitečných produktů, v úplně jiných formách od jejich původního stavu. Např. z PET láhví se mohou odléváním a roztopením stát plastové židle nebo stoly. Většinou se plasty znovu nerecyklují do stejného typu plastu. Ne vždy jsou produkty vyrobené jako recyklovatelný plast recyklovatelné [6].

Optimální situace by nastala, kdyby všichni výrobci plastů používali a vyráběli jen ty plasty, u nichž je recyklace bezproblémová, ale to se zatím neděje. Plasty stejně tak jako bioplasty nejsou schopny plného využití. V neposlední řadě – ne všechny plasty, které lidé třídí, se recyklují. Recyklaci a rentabilitu ovlivňuje cena ropy. Pokud klesne cena polyetyleny pod určitou hodnotu za kilogram, tak přestává být pro výrobce zajímavá a tak ji začne nahrazovat druhotnými (již recyklovanými) surovinami. Tímto klesá poptávka a recyklace vázne. Výroba plastů spotřebuje cca 4% světové produkce ropy (nepočítaje dopravu a energii) [6].

Samotný proces třídění začíná u každého člověka. Po vhození plastového obalu do příslušného kontejneru přijede sběrný vůz a plasty odveze do sběrný na roztřídovací linku. Zde zaměstnanci vybírají na běžícím páse vše, co k plastům nepatří. Zde se plasty rovněž třídí dle jednotlivých druhů (nejčastěji se vytřídí PET, tvrdý plast, polystyren). Dále se pokračuje proces drcení a mletí. Materiál se rozdrť v drtičce na malé vločky, které se poté dokonale properou ve vodě. Tímto způsobem se odstraní z materiálu zbytky potravin, nápojů, lepidel apod. Proprané vločky se roztaví a dle druhu vytvoří směs. Tento polotovar se dále tepelně roztaví a vtláče se do kovových forem. Poté se recyklát přemístí ke svému odběrateli. Plastové fólie se recyklují velmi podobně. Nejprve projdou procesem mletí a drcení, potom z nich vznikají granule, které se tepelně taví a lisují do formy „rukávu“. Používají se třeba jako pytle na odpad [6].

Roztříděné plastové materiály se svážou, zabalí a odvezou k následnému zpracování. Nadbytečné nepoužitelné zbytky je možno použít na „downcycling“. Tato metoda v ČR není příliš rozšířena a plasty často putují dále do tepláren a cementáren jako tuhé alternativní palivo. Tímto způsobem se vytříděný plast člověkem zužitkuje ekonomicky a nekončí na skládkách. Skládání je v ČR nejrozšířenější způsob jak nakládat s odpadními hmotami [6].

Recyklované výrobky jsou mnohdy stejně kvalitní a odolné jako ty z primárních surovin. Nejčastěji jsou využívány ve stavebnictví, kde jsou použity jako protihlukové stěny. Dále se vyrábí tašky, pytle, mřížky, nebo zahradní nábytek. Výrobků z recyklovaného plastu neustále přibývá. Většímu využití plastových odpadů recyklací brání vývoz do asijských zemí, kde jsou menší náklady na práci než v Evropě [6].

Důležitým faktorem pro kvalitu, životnost a cenu následného z recyklovatelného produktu je „čistota recyklátu“. Ne vždy se ovšem podaří stejnorodosti docílit, je to technicky velmi náročné, téměř nemožné. Žádný z třídících systémů v ČR není dokonalý. Situaci nejvíce komplikují ti výrobci, kteří používají nové vícevrstevné, povrchově upravené nebo barevné plasty, u kterých je recyklovatelnost minimální. Výrobci na své obaly umísťují speciální značky. Takovýto obal by měl obsahovat zelený bod, což znamená zaplacení za recyklaci společnosti EKO-KOM. Zároveň na obalu nesmí chybět značka určující druh materiálu [7].

### **Třídění plastů v domácnosti**

Velká většina plastových obalů, které vzniknou v domácnostech, jsou potravinové obaly a obaly spotřebního zboží. Průměrná česká domácnost ročně vytrídí asi 24 kg plastů. Aby plasty nezabíraly moc prostoru, je rozumné je sešlápnout už doma. Nejčastěji se pro sběr plastů použijí tašky, pytle nebo zvláštní koše. Použité obaly je dobré zbavit zbytku obsahu, tím uživatel zabrání nežádoucímu zápachu [8].

### **Nové výrobky**

Z vytríděných PET lahví se vyrábí textilní a technická vlákna, ze kterých pak vznikají oděvy, koberce, vázací pásy apod. 50 PET lahví stačí na výrobu jedné fleecové bundy. Plastové tašky, fólie a sáčky se převážně znovu granulují a opětovně slouží k výrobě nových fólií. Pěnový polystyren se zpracovává do izolačních tvárnic a dalších tepelných izolací. Neroztříděné směsné plasty jsou používány na stavební a zahradní prvky (ploty, zatravnovací dlažba, protihlukové zábrany) [8].

### **Recyklace**

Dle druhů se slisované a roztříděné plasty až dvousetkilových balících odvezou z třídící linky ke zpracovatelům. Zde se perou, drtí a přetvoří na výrobu konečných produktů. Ročně je v ČR využito a recyklováno 59% plastových obalů. Nejčastějším produktem recyklace plastů

je regranulát, což je hlavní surovina pro výrobu nových plastů. Tyto regranulované odpadní plasty jsou obsaženy ve většině nových výrobků [8].

### **Dotřídovací linka**

Dotřídění plastů je významná fáze celého recyklačního cyklu, protože je zde možno odstranit nežádoucí příměsi. Na dotřídovacích linkách je denně roztříděno a slisováno přes 279 tun plastu. Hlavní důležitou funkcí linky je roztřídění plastů dle materiálu na PET, duté plastové obaly, fólie, polystyren a směsný plast. Ty jsou pak zpracovávány samostatně. PET láhve jsou nejrozšířenějším a nejpoužívanějším plastovým obalem, dotřídí se ještě podle barev. Špatně vytříděné odpady se používají jako alternativní paliv v různých provozech [8].

### **Svoz odpadu**

Na svoz plastů i jiného tříděného odpadu se používají stejné svozové vozy. V některých městech jsou vozy vyhrazeny pro sběr jednoho druhu tříděného odpadu. Musí být označeny nápisem, pro příslušný druh odpadu, aby nedošlo k pochybení ze strany obsluhy. Modernější vozy mají integrovaný lis, díky kterému sníží objem plastů až 6x. Z obcí v ČR je ročně svezeno přes 102 tisíc tun plastu [8].

### **Kontejnery na třídění plastů**

V ČR je zhruba 83190 kontejnerů na plasty. Kontejnery sloužící k třídění plastů jsou označeny nápisem plasty a mají žlutou barvu. Plastové obaly by se měly před vhozením do kontejneru minimalizovat sešlápnutím [8].

Svět plastu a umělých hmot rozmanitý, jsou všude okolo člověka. Jejich recyklování by mělo být samozřejmostí, avšak ne všechny plasty se dají znova recyklovat. Je to způsobeno velkým množstvím odpadu, který není jednoho druhu. Třídění některých druhů umělých hmot není prakticky možné. Dalším problémem recyklace je velké množství přídavných aditiv. Plasty ve velké většině s teplotou degradují – pokud chce člověk vyrábět kvalitní výrobky, ne pokaždé je možné se spolehnout na recykláty [1].



## 4. Biodegradabilita

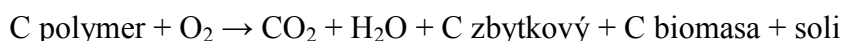
Biodegradací je myšleno biologické odbourávání organických látek. Při biodegradaci pracují především mikroorganismy, které mají oproti vyšším organismům bohatý metabolismus. Biodegradace se týká látek, které do životního prostředí vnikly lidskou činností (antropogenní) i látek přírodních. Antropogenní látky se nazývají polutanty. V zemích EU jsou mezinárodní úmluvou definovány jako tzv. perzistentní polutanty, mající charakter:

- Toxický vliv na člověka a na životní prostředí
- Jsou perzistentní (těžko rozložitelné)
- V životním prostředí jsou akumulovány na větší vzdálenosti
- Akumulace v potravním řetězci

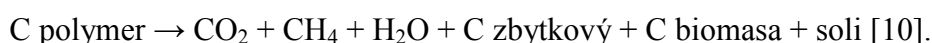
Perzistentní polutanty jsou hydrofobní látky (dobře rozpustné v tucích, špatně rozpustné ve vodě) a tímto jsou škodlivé hlavně akumulací toxicity v potravním řetězci. Mezi nejškodlivější polutanty patří pesticidy, průmyslové chemikálie, produkty chemických výrob. Proces, při kterém jsou využity mikroorganismy pro očištění znečištěné oblasti, se nazývá bioremediace [9].

Biodegradace je schopnost substance podstoupit mikrobiální rozklad. Je to eliminace organických látek v ekosystému díky metabolické aktivitě biocenózy. Nejlepším konečným produktem biodegradace je biomasa, voda, oxid uhličitý a další anorganické sloučeniny. V přírodě se biodegradace může odehrávat dvěma způsoby: anaerobně (za nepřístupu vzduchu) a aerobně (za přístupu vzduchu). Tyto dva způsoby biodegradace probíhají v půdním i ve vodním prostředí [9].

### **Aerobní proces** (C je značka uhlíku)



### **Anaerobní proces**



## 4.1. Biodegradace plastů

Plasty se zkrácenou životností, na které působí různé druhy degradačních řetězců. Jsou to biodegradace, termo-degradace, foto-degradace nebo chemická degradace. U biodegradací se používají především plísně a bakterie. Účinnost bakterií je závislá na jejich typu, charakteru rozkládaného materiálu a jeho stáří a na vzdušné lehkosti a okolní teplotě [11].

Biodegradace plastů je naprogramovaný proces rozkladu materiálu za pomoci pro-oxidantů. Působením tepla a UV záření vznikají v materiálech radikály (látky reagující s kyslíkem v ovzduší), které zapříčiní rozklad molekul a štěpení makromolekulárních řetězců. Pro-oxidanty jsou při rozkladu nejdůležitější a tento proces řídí. K úplnému rozložení plastů biodegradací dojde v řádu několika let, což je podobná doba za jakou se rozkládají čistě přírodní materiály. Vývoj těchto plastů je v současnosti na začátku a schopnosti rozkladu materiálu se u jednotlivých typů těchto plastů liší [1].

Rozsáhlá studie o biodegradaci plastů byla provedena za účelem vyřešit problém životního prostředí spojeného se syntetickým plastovým odpadem. Nedávný výzkum včetně studie distribuce syntetických polymerů degradující mikroorganismy přinesl objev nových degradačních enzymů a klonování genů pro degradační enzymy. Biologický rozklad plastů je často porovnáván s rozkladem dřeva vzhledem k vlastnostem plastu a masivního dřeva. Borovice a duby byly napadeny plísněmi a možnosti léčby byl biologicky rozložitelný alifatický polyester a nerozložitelný polystyren. Proces probíhal tak, že na poškozený vzorek dřeva byly nanášeny plastové materiály a poté se ošetřené vzorky dřeva vystavily hnilobnému rozkladu po dobu 8 týdnů. Alifatický polyester nedovedl dřevo proti rozkladu a plísní ochránit. Polystyren ochránil dřevo před napadením houbami. Oba plasty jsou transparentní a po ošetření si dřevěné materiály udržely svůj přirozený vzhled a lesklý povrch [12].

Běžné dřevo zakoupené v obchodech bez plastových kompozit podléhá po čase v přírodních podmínkách rozkladu. Při použití masivního dřeva, ke kterému se přidá transparentní plast, dojde k zachování jedinečné a estetické hodnotě přírodního dřeva – je schopno odolávat přírodním vlivům delší dobu [12].

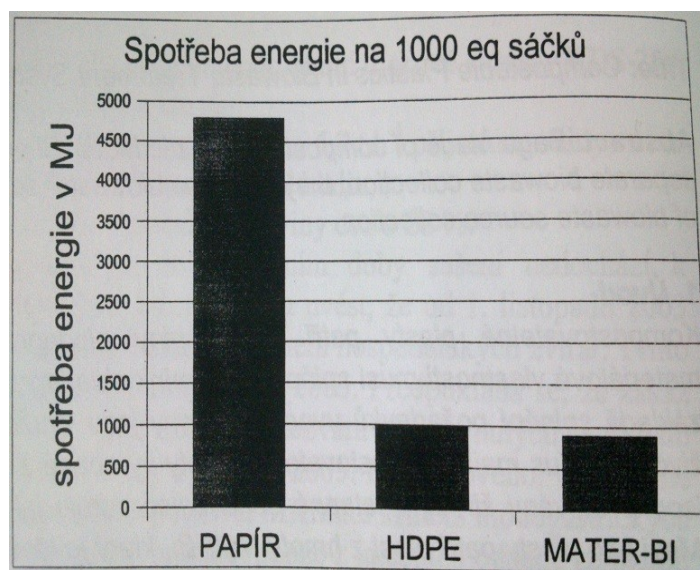
## **4.2. Kompostovatelné plasty a jejich rozklad**

Kompostovatelné plasty patří do skupiny biodegradabilních plastů a jejich materiálové vlastnosti musí splňovat podmínky biodegradability ČSN 13432. Na základě splnění všech požadavků uvedené normy jsou materiály využitelné ke kompostování. Příznivý životní cyklus mají plasty vyrobené z jednoho derivátu škrobu. Pro výrobu jsou používány dostupné obnovitelné zdroje – obilí, kukuřice, rýže a brambory [13].

### **4.2.1. Hodnocení kompostovatelných plastů**

U porovnávání vlivu biodegradabilních plastů vůči životnímu prostředí, studie jasně ukázaly, že z pohledu produkce skleníkových plynů a energetických úspor mají biodegradabilní plasty v porovnání se synteticky vyráběnými materiály na životní prostředí pozitivní vliv. Při „likvidaci“ synteticky vyráběných plastů, vede často k jejich skládce nebo spalování. Způsob „likvidace“ biodegradabilních plastů je navíc možnost zisku kompostu nebo bioplynu. Při špatném užití v komerčním zemědělství mohou mít negativní vliv na zvýšenou eutrofizaci vod, nebo na sníženou biodiverzitu. Výroba biodegradabilních plastů je získání primární hmoty z rostlinné výroby – škrob, kyselina mléčná [13].

Příkladem zkoumání je hodnocení životního cyklu kompostovatelných sáčků na bioodpad v souladu s normou ISO 14040. Srovnávaly se sáčky různých materiálů, které ve své podstatě sloužily ke stejným účelům – sáčky z papíru, sáčky HDPE (s vysokou hustotou polyetyleny) a sáčky z materiálu Mater-Bi [13].



Obrázek 7 Spotřeba energie na 1000eq sáčků

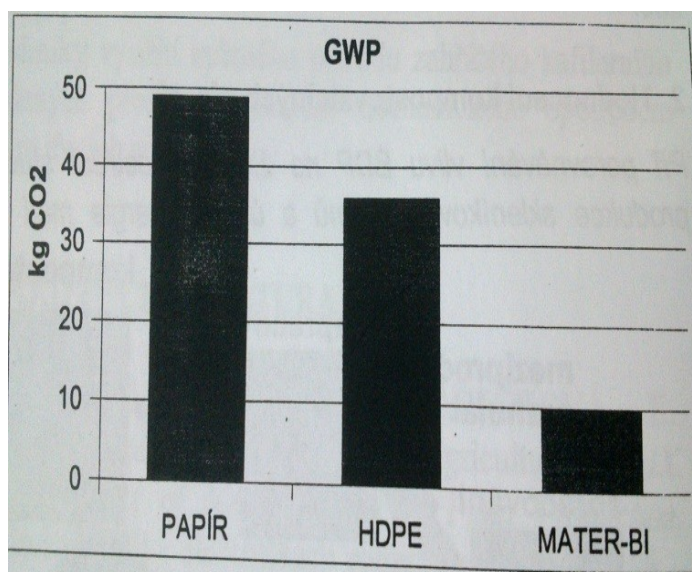
Prvním ze sledovaných parametrů byla spotřeba energie na 1000 ekvivalentních sáčků v MJ (obr. 7)

Papír = 48000 MJ

HDPE = 1000 MJ

MATER-BI = 900 MJ

Vysoká spotřeba energie na papírové sáčky je způsobena kvůli jejich vysoké hmotnosti oproti ostatním materiálům [13].



**Obrázek 8 Celkový příspěvek k oteplování Země**

Následujícím parametrem byl celkový příspěvek k oteplování Země GWP (Globalwarmingpotential), (viz obr. 8) a ekvivalent pro 1000 sáčků – měřeno množstvím CO<sub>2</sub> v kg.

Papír = 49 kg

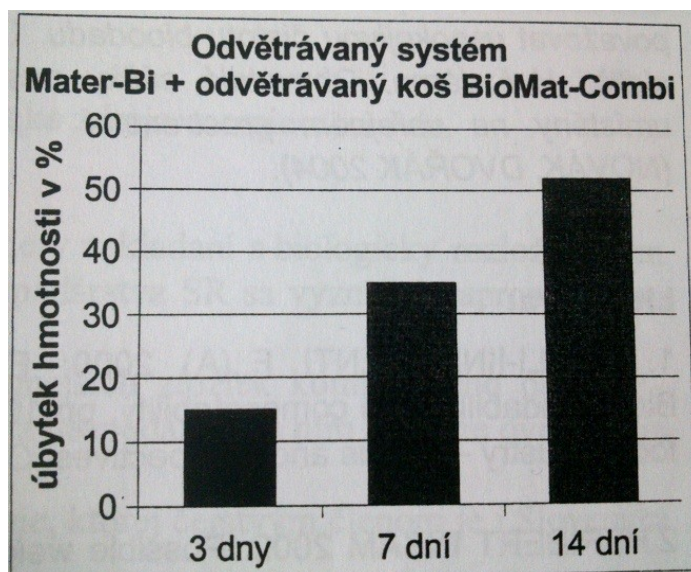
HDPE = 36 kg

MATER-BI = 10 kg [13]

Dále se zkoumaly dopady na životní prostředí jako ozónový efekt a acidifikace. Během hodnocení vlivu odpadů, vznikajících od prvotní výroby až po jejich likvidaci byl zjištěn u Mater-Bi méně příznivý dopad v porovnání s HDPE a papírem, při zasolování prostředí [13].

Mater-Bi je nová skupina bio-plastů, u kterých se při výrobě používají rostlinné složky jako např. kukuřičný škrob. Jsou vyrobeny z biologicky odbouratelných polymerů. Často se označují jako plasty nové generace, díky jejich skvělé biologické rozložitelnosti. [44] Speciální vlastností kompostovatelných sáčků vyrobených z plastu Mater-Bi je jejich paro-propustnost. Díky této vlastnosti se sáčky používají ke sběru bio-odpadů. Je-li sáček umístěn tak, aby kolem něj mohl proudit okolní vzduch, dochází k vysychání bio-odpadu ve vnitřní části sáčku. Úbytkem vlhkosti lze dosáhnout snížení hmotnosti odpadu až o 40% za týden, díky čemuž může dojít k reálnému ekonomickému dopadu při svozích a platbách za

zpracování bio-odpadu. Dochází také ke snížení hnilobných procesů, což vede k úbytku tvorby plísní a zapáchajících látek. Mimo jiné studie zkoumala i úbytek hmotnosti u různých systémů sběru bio-odpadů v domácnosti. Nejlepší výsledky měl odvětrávací systém tvořený materiálem z kompostovatelného sáčku Mater-Bi a speciálního odvětrávaného koše BioMat-Combi [13].



Obrázek 9 Odvětrávaný systém Mater-Bi + odvětrávaný koš BioMat-Combi

Úbytek hmotnosti v % u odvětrávaného systému (obr. 9).

3 dny = 15%

7 dní = 35%

14 dní = 52%

Odvětrávací efekt je důležitý [13].

### 4.3. Perspektiva kompostovatelných plastů

I přes příznivá hodnocení a výborné uživatelské vlastnosti je využitelnost biodegradabilních plastů vyrobených z hmoty Mater-Bi limitována jeho současnou cenou. Ta je v porovnání s ostatními plasty vyrobených z fosilních zdrojů asi 8x vyšší. Tento rozdíl je dán především nepoměrem cen prvotních surovin a ještě stále relativně komplikovaným způsobem výroby biopolymeru. I díky těmto nepříznivým aspektům, může dnes být používání

kompostovatelných sáčků z hmoty Mater-Bi ekonomické, jsou-li správně používány a pokud jsou správně vyčísleny veškeré přínosy, které užívání takových sáčků přináší. Velké masivní nasazení sáčků má smysl především v místech s bytovou výstavbou, kde je při manipulování s bio-odpadem nutné odpady vynášet do sběrných nádob. Pokud je bio-odpad v obyčejném plastovém koši, většinou začne brzy zapáchat a později se z nádoby těžko dostává. Z tohoto důvodu košů a nádob vkládány běžné polyetylenové tašky, které si uživatel může přinést z nákupu. Odpad končí ve sběrné nádobě většinou i včetně těchto sáčků. Primární znečištění bio-odpadu vede k dalšímu znečištění nežádoucími odpady. K výhodám kompostovatelných sáčků je třeba započítat hygienické aspekty, díky kterým vynikají – čistá manipulace, snížení hnilobných procesů a zápachu, snížení hmotnosti bio-odpadu (poplatky za svoz a zpracování), zvýšení čistoty bio-odpadu (není potřebná další manipulace před odevzdáním na kompostárnu, snížení množství biodegradabilních odpadů ve směsném odpadu [13].

Převést výše uvedené aspekty na čísla není lehké, je potřeba brát v úvahu mnoho dalších věcí, které mohou v důsledku ovlivnit konečnou ekonomiku. Je tedy nutné provést posouzení na konkrétních podmínkách v konkrétní lokalitě. Zahraniční státy Rakousko, Itálie, Holandsko a Německo hlásí pozitivní přínos kompostovatelných biodegradabilních plastů. V těchto státech je ale ekonomika ovlivněna větším rozdílem mezi cenou ukládání odpadu na skládky a cenou kompostování [13],[51].

#### **4.4. Biodiverzita a výskyt mikroorganismů degradujících polymery**

Biodiverzita a výskyt polymeru degradujících mikroorganismů se liší vzhledem k závislosti na prostředí, ve kterém se nacházejí, jako je moře, půda, kompost nebo aktivovaný kal. Je tedy nezbytné zjistit rozmnožování a populaci mikroorganismů rozkládajících polymery v různých typech ekosystémů [14].

Obecně platí, že organismy vystaveny na povrch plastů, jsou hlavními mechanismy podílejícími se na degradaci plastů. Enzymatická degradace plastů hydrolýzou má dvě fáze:

1. Enzym se váže na substrát polymeru a následně katalyzuje hydrolytické štěpení. Polymery jsou degradovány do nízké molekulové hmotnosti a nakonec mineralizovány na  $H_2O$  a  $CO_2$ .

2. Metoda „čisté zóny“ s agarem (přírodním polysacharidem) je používána pro monitorování mikroorganismů a jejich potenciálu vůči polymeru [15].

Mikroorganismy během degradace vylučují speciální extracelulární enzymy, které rozpouští přírodní polysacharid. Pomocí této techniky bylo zjištěno, že jsou organismy rozšířeny do prostředí půdního a vodního [16].

Většina organismů schopných degradovat PHB plasty patří do různých taxonů (bakteriálních kmenů), jako jsou gram pozitivní a gram negativní bakterie, *streptomyces* bakterie. Patří zde zhruba 39 kmenů bakterií, schopných rozkladu polymerů [17].

#### **4.5. Faktory ovlivňující biologickou rozložitelnost plastů**

Vlastnosti plastů jsou spojeny s jejich biologickou rozložitelností. Jak chemické, tak i fyzikální vlastnosti plastů ovlivňují mechanismus biologického rozkladu.

Faktory lze rozdělit na :

1. Povrchové podmínky – rozloha území, hydrofobní a hydrofilní vlastnosti
2. Prvotní stavební struktura – chemická struktura, molekulární hmotnost



### 3. Vyšší stavební struktura – teplota tání, pružnost, krystalická struktura

Tyto faktory hrají v biodegradačních procesech významnou úlohu [18].

Obecně platí, že polyestery s postranními řetězci jsou menší, než asimilované polyestery bez postranních řetězců. Molekulová hmotnost je důležitá pro biologickou rozložitelnost, protože určuje mnoho fyzikálních vlastností polymeru. Když se zvýší molekulová hmotnost polymeru tak se sníží jeho rozložitelnost [19].

Kromě hmotnosti, také morfologie polymerů výrazně ovlivňuje jejich biodegradaci. Stupeň krystalické struktury je klíčovým faktorem, který ovlivňuje biologickou rozložitelnost, protože je odolnější amorfni část. Molekuly v amorfni části jsou volně rozloženy a tak jsou náchylnější k degradaci. Rychlost degradace plastů klesá při zvyšování krystalinity polymeru. Teplota tání ( $T_m$ ) má silný vliv na degradaci polymeru. Čím vyšší je teplota tání, tím nižší je biologický rozklad polymeru [20].

Obecně je teplota tání vyjádřena následujícím vzorcem:

$$T_m = \Delta H / \Delta S \quad (H = \text{změna entalpie při tání, } \Delta S = \text{změna entropie při tání})$$

Interakce mezi polymerními řetězci má vliv především na hodnotu  $H$  a vnitřní energie rotace (pružnost) molekuly polymeru ovlivní hodnotu  $\Delta S$  [20].

## 4.6. Polymerní materiál

Polymerní materiál je převážně tvořen polymery, tzn. organickými látkami s vysokou molární hmotností. Používané polymery mohou být syntetické (vyrobeny z uhlovodíků nebo jejich derivátů – ropa, dehet, uhlí) nebo také přírodní (bílkoviny, polysacharidy). K polymerním materiálům patří především plasty, ale i přírodní syntetické kaučuky (lepidla). Vlastnosti polymerů v různých materiálech jsou vylepšovány a upravovány pomocí aditiv (přídavným látkám). Často je použita směs dvou a více polymerů, nebo směs polymerů s anorganickými látkami (např. v polymerních kompozitních materiálech). U plastů se chemické, fyzikální a další vlastnosti materiálu upravují přidáním změkčovadel (např. PVC), antioxidantů, barviv a pigmentů. U kaučuku jsou základními plnicími přísadami saze, které „zesítují“ původní lineární řetězce polymeru [21].

#### **4.6.1. Biologicky rozložitelné polymery**

Mísení biologicky rozložitelných polymerů je jedna z možností snižování celkových nákladů na degradaci. Ve srovnání s metodou kopolymerace, je mísení mnohem jednodušší a rychlejší způsob, jak docílit požadovaných vlastností. Důležité je také aby se do těchto polymerů zahrnuly všechny druhy, i ty levnější. Mísitelnost směsí je jedním důležitých faktorů, které mají vliv na konečné vlastnosti polymeru [22].

Mezi výhody mísitelných směsí patří jednofázová morfologie a reprodukovatelnost mechanických vlastností. Tvorba mísitelných směsí, zejména pak s biologicky neodbouratelnými polymery mohou zpomalit nebo dokonce inhibovat degradaci rozložitelných složek. Vědci rozvinuli vlastnosti směsného plastu tím, že zkombinovali PCL plasty s konvenčními plasty (polystyren, nylon atd.) a vyhodnotili jejich degradabilitu. U směsí PCL probíhá degradabilita různě. Obecně platí, že čím je vyšší mísitelnost PCL a běžných plastů, tím více se plasty rozkládají. Dále bylo zjištěno, že degradabilita u směsí PCL mohla být řízena díky fázové struktuře [23],[48].

Různé směsi plastů byly porovnávány s biologicky rozložitelnými a nerozložitelnými polymery a polysacharidy. Byla zkoumána především mísitelnost, biologická rozložitelnost a morfologie. Výsledky ukázaly, že ztráta hmotností směsí polymerů lineárně klesá s nárůstem jiných směsí [24].

Při studiích morfologie, biologické rozložitelnosti a mísitelnosti směsí se dospělo k závěru, že rychlost enzymatické povrchové eroze se snižuje s rostoucím obsahem různých polymerů ve směsi. Polymerní směsi obsahující látky PHB obvykle vykazují lepší vlastnosti biologické rozložitelnosti, než směsi bez PHB [25],[43].

#### **4.6.2. Polymery se škrobem**

Směsi syntetických polymerů se škrobem nabízí výhody u zpětné výroby, protože škrob je obnovitelný, levný a dostupný celý rok. V tomto případě se škrob smísí do granulí (granulových tvarů) nebo do želatinového škrobu který se chemicky modifikuje to termoplastu. Dohromady vytvoří směs syntetických škrobových polyesterů a granulovaný škrob finální směs, která je vykazuje vysoký stupeň biologického rozkladu [26].

Použitím směsi škrobu a kukuřice se hodnotí biodegradabilita prostřednictvím enzymu  $\alpha$ -amylázy. Její biodegradační schopnost ovšem rychle klesá s nárůstem obsahu jiných rozložitelných plastů [27],[45].

Degradace směsí PCL škrobem ukázala, že při zvyšování obsahu škrobu, se polymerní směsi staly více biologicky rozložitelnými pomocí lipázy. Díky tomu narůstá povrchová plocha PCL a po smíchání se škrobem se činí ještě náchylnější k biologickému rozkladu [28].

Škrob společně s PLA (bio-plast obsahující kyselinu poly-mléčnou) jsou vhodné přísady do polymerních směsí, protože jsou oba biologicky rozložitelné a dobře odvoditelné z obnovitelných zdrojů. Škrob může zlepšit biologickou rozložitelnost a snížení nákladů, PLA kontroluje mechanické vlastnosti směsi. Škrob je hydrofilní materiál, který není dobré přidávat k hydrofobním polyesterům, z důvodů nepříznivých vlastností těchto směsí. Byly navrženy a vyvinuty syntetické polymerní směsi neslučitelné se škrobem [29].

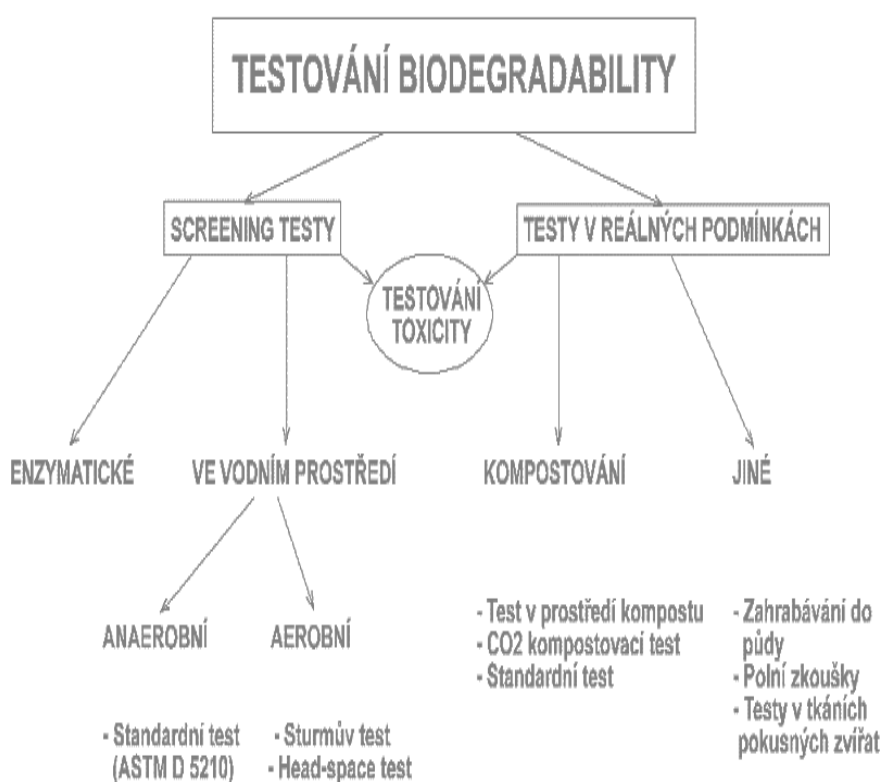
Vynikající adheze směsí PLA a škrobu bylo dosaženo za pomoci kyseliny maleinové (MA). Díky MA je dobrá slučitelnost směsí PLA a škrobu a dochází ke zvýšení krystalinity. Dle testu bylo později zjištěno, že obsah škrobu výrazně zvýší rychlost biologického rozkladu [30].

#### **4.7. Výhled do budoucnosti**

Biologicky rozložitelný plast je inovativní způsob řešení problémů týkajících se plastů a jejich rozložení. Obecně platí, že plasty jsou ve vodě nerozpustné termo-elastické materiály. Biologická odbouratelnost plastů je ovlivněna jejich fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Vedle kovalentních sil polymerních molekul platí u plastů i různé druhy slabých sil (tj. Van der Waalsovy síly), které působí mezi makromolekulárními řetězci. Biologického rozkladu mechanismu plastů lze aplikovat polymerní materiály (celulóza, chitin, hedvábí). Díky znalostem o biodegradaci plastových materiálů lze zjistit různá onemocnění, která jsou spojena s agregací, ukládáním a krystalizací abnormálních proteinů. Lipotické enzymy lipázy a esterázy mohou hydrolyzovat nejen estery mastných kyselin ale také polyestery. Právě lipotické enzymy hrají důležitou roli v degradaci přírodních alifatických polyesterů, jako je cutin nebo esteroid, které jsou v přírodním prostředí nebo v zažívacím traktu zvířat. Není jisté, jestli lidské tělo produkuje veškeré alifatické polyestery nebo ne [31],[46].

## 5. Testování Biodegradability

Biodegradabilita prvotních biodegradabilních plastů byla testována pomocí metod vyvinutých pro studia schopnosti plastů odolávat v půdě mikrobiálnímu rozkladu. Testy byly postupně nahrazeny metodami stanovujícími koncové produkty mikrobiálního metabolismu. Kvůli vyhovění všem požadavkům na testování rozložitelných plastů se vyvinula řada metodik, zahrnujících veškeré prostředí, ve kterých plasty po jejich použití končí [32],[47].



Obrázek 10 Testování biodegradability

### 5.1. Půdní testy

Mezinárodní norma poskytující přesný postup metody a jejího provedení pro stanovování biologické rozložitelnosti organických látek v půdním profilu za podmínek aerobních je norma ISO 11266 z roku 1994. Norma popisuje půdní kvalitu, řízení biologické rozložitelnosti organických látek v laboratorním testu půdy za aerobních podmínek. V této normě nejsou popsány jednotlivé metody testování [33].

Další mezinárodní norma ISO 17556 z roku 2003 určuje stanovení konečného aerobního biologického rozkladu v půdě díky měření spotřeby kyslíku množstvím vyprodukovaného oxidu uhličitého. Při této metodě je postupováno tak, aby došlo k optimální biodegradaci regulováním vlhkosti zkušební půdy. Je-li půda zkušební půda použitá jako očkovací látka, test simuluje biodegradaci, která se odehrává v přirozeném půdním prostředí. Když je půda adaptovaná (předem připravená), může se použít jako metoda zjištění potenciální biologické rozložitelnosti u materiálu, který se testuje. Tento postup lze použít pro materiály: syntetický nebo přirozený polymer, kopolymer, plastické materiály obsahující barviva nebo změkčovadla, vodorozpustný polymer a materiály, které se v nastavených zkušebních podmínkách chovají aktivně a nepřekáží aktivitě půdních organismů [34].

Metoda D 5988-03 je zkušební metoda, která určuje aerobní biodegradaci v půdě pro plasty nebo zbytkové plastové materiály pro kompostování. Je srovnatelná s normou ISO 17556. Tuto metodu popisuje organizace ASTM (American Society for Testing Materials) a je určena ke sledování biologické rozložitelnosti syntetických plastů (a všech přísad) ve zralém kompostu nebo půdním profilu. Je určena pro stejné materiály jako ISO 17556 [35].

## **5.2. Burial Testy**

Burial testy jsou speciální testy, pomocí kterých se stanoví biologická rozložitelnost plastů v půdě i v kompostu. Test je prováděn pomocí gravimetrické metody. Metoda spočívá v uložení vzorku do půdního profilu. Vzorek je vždy dvakrát zvážen – na začátku a na konci testu. Z příslušných rozdílů hodnot se dá následně spočítat účinnost odstranění polymeru z půdy. Z testu lze také odvodit, jaká bude účinnost rozložení daného polymeru v přirozeném prostředí mikrobiálním útokem [36].

## **5.3. Kompostování jako proces biodegradace**

Jedná se o bio-oxidativní proces, kdy jsou organické látky postupně rozkládány na humus, minerální soli, vodu a CO<sub>2</sub>. Délka průběhu kompostování je ovlivněna aktivitou a druhovou rozmanitostí mikroorganismů. Teplota v průběhu kompostování, která vzniká důsledkem metabolické aktivity, dosahuje maximálně 60°C. Může být ale i tak vysoká, že dojde k samovznícení kompostovaného materiálu. Během procesu se pH pohybuje mezi 7–8 a je ovlivněno vlhkostní poměrem kompostu a množstvím přítomného O<sub>2</sub>. Pro rozvoj mikroorganismů je důležitý poměr C/N, který by měl být udržován v rozmezí 20-40. Na

začátku kompostování by měl být ideální poměr C/N 30-35/1 a pro vermikompostování 20/1. Během správně prováděného kompostování se poměr C/N kvůli množství organického uhlíku přeměněného na CO<sub>2</sub> a míře denitrifikace snižuje [37].

Velikost částic půdního substrátu určuje plochu povrchu přístupnou pro mikroorganismy a jejich působení. Půdní vlhkost má vliv na množství vzduchu a zásobu O<sub>2</sub>. Účinnost mikroorganismů rozkládat organické minerály závisí na intenzitě produkce specifických extracelulárních enzymů pro daný substrát. Rychlost tohoto rozkladu je také ovlivněna velikostí vnitřních povrchů materiálů a strukturou a chemickým složením makromolekul. Kompostování je označováno jako nejefektivnější způsob využití biologicky rozložitelných plastových obalů a polymerů [37],[50].

#### **5.4. Test v prostředí kompostu**

Test v prostředí kompostu se zaměřuje na srovnání biologické rozložitelnosti různých plastů a plastových hmot během kompostování. Stupeň zkompostování se určuje výsledným úbytkem hmotnosti jednotlivých vzorků. Půdní substrát tvoří bio-odpad. Při kompostování se měří produkce CO<sub>2</sub>, relativní zásoba O<sub>2</sub>, pH a teplota. Jednotlivé kompostéry jsou umístěny způsobem, při kterém se může měřit ve stejném prostředí deset sérií po čtyřech vzorcích. Do testu se zahrnuje biodegradabilní pozitivní kontrola – škrob, celulóza. Vizualní hodnocení kompostovacího testu se provádí každý den během překopání kompostů a na jeho konci zvážením nebo dalšími fyzikálními, chemickými nebo mechanickými testy. Na konci kompostovacího testu musí být škrob a celulóza úplně rozložena a teplota uvnitř poklesnout na teplotu okolního vzduchu. Během testu se provádí také měření vlivu pH a zvýšené teploty na testovaný polymer z pufru [38].

#### **5.5. Standartní kompostovací test**

Základem tohoto testu je měření produkce CO<sub>2</sub> ve vzorku. Vzorkem plastu ve formě granulí, prášku a pruhů společně s vyžralým kompostem se naplní dvou až pětilitrové baňky v poměru 6:1 v přepočtu na sušinu. Baňky jsou zahřívány z vnějšku. ASTM metoda určuje teplotní profily v průběhu asi sedmi týdnů, kdy test probíhá. 1. den 35°C, 2.-5. den 58°C, 6.-28. den 50°C a 29.- 48. den 23°C. CEN metoda určuje konstantní teplotu kolem 58°C. CO<sub>2</sub> se měří pomocí plynového chromatografu nebo je zachycováno v Ba(OH)<sub>2</sub>. Kromě pozitivní

kontroly se zde provádí i negativní kontrola a nulová kontrola (pouze kompost). Test vykazuje reálný proces kompostování [39].

## 5.6. CO<sub>2</sub> kompostovací test

Jedná se o test, u kterého je základem stanovení CO<sub>2</sub>, které vzniká během kompostování. Teplota při kompostování není udržována uměle, ale činností půdní mikrobiální aktivity. Během testu se dále určuje pH, teplota, sušina, humifikace a spalitelné látky. Po skončení testu se dále měří poměr C/N, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub> [40].

## 5.7. Test v prostředí vermikompostu

Stanovování biologické rozložitelnosti plastů na základě stanovení produkce CO<sub>2</sub> je nespolehlivé, protože množství CO<sub>2</sub>, které vzniká při rozkladu plastu je zanedbatelné oproti množství vznikajícím rozkladem z ostatních substrátů. Úbytek hmotnosti plastu se dá také stanovit jen s malým statistickým významem. Díky tomu, je při zkoumání biodegradability vhodné měřit změny fyzikálních vlastností vůči závislosti na době rozkladu [41].

Pro intenzivní osídlení substrátu mikroorganismy, během dlouhého časového období za konstantní vlhkosti, pH a teploty je důležité zvolit místo vermikompostu substrát pro bio-rozklad. U vermikompostu jsou všechny důležité parametry prostředí udržovány aktivitou žížal dešťovek (*Eiseniafetida*). U testu se použil substrát PPK ze směsi primárního papírenského kalu a substrát SPB sekundárního papírenského bio-kalu v poměru 1:1 v přepočtu na sušinu. Vlhkost při testu byla 80%, teplota 23°C a pH okolo 7. Míra biologické rozložitelnosti se určuje dle úbytku hmotnosti plastů, jejich mezí pružnosti a napětím při přetržení [41],[49].

## 5.8. Anaerobní degradace

Během anaerobní biologické degradace štěpí acidogenní bakterie organické látky na mastné kyseliny a alkoholy. Tyto sloučeniny se dále rozkládají pomocí bakterií na CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> a acetát. Po skončení anaerobní degradace vznikají konečné produkty CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub>, které se použijí při degradaci polymeru. Na úplnou kompletní degradaci polymeru je potřeba smíšená kultura mikroorganismů [42].

## 6. Experimentální část

V experimentální části bude popisován rozklad vybraných plastových materiálů v půdním prostředí.

### 6.1. Popis práce a vzorků

Tento experiment rozložitelnosti vybraných plastů v půdních typech byl prováděn v časovém období 7 týdnů. Test začal 22. února 2014 a skončil 15 dubna 2014. Během tohoto časového období bylo sucho, nebyl zaznamenán větší nárůst srážek. Vybrané plasty se vložily po třech kusech do třech odlišných půdních typů. Byly uloženy do půdy do hloubky 10cm, ve které již probíhá působení mikroorganismů a zároveň zde ještě do půdy vstupuje teplo. V této hloubce by měla být optimální biodegradace. Plastové materiály byly nařezány na malé kusy, které se vložily do půdních typů.

Vybrané plastové materiály:



Obrázek 11 plastová taška Globus

Plastová 100% rozložitelná taška z obchodu GLOBUS je vyrobena z plastu s přísadou TDPA. V této tašce jsou přidána speciální aditiva, která urychlují biologicky rozklad. Výrobce slibuje, že se tato taška zcela rozloží procesem oxidace [52].





**Obrázek 12** plastová taška Tesco

Plastová taška z obchodu Tesco je vyrobena z PCR a PE materiálů. Díky nim je možno tašku opakovaně recyklovat a znovu využít při výrobě. Oproti běžné igelitové tašce TESCO taška šetří životní prostředí, a snižuje produkci CO<sub>2</sub> o 60% [53].



**Obrázek 13** Bio-plastový nůž

Bio-plastový nůž je vyroben z pšeničné celulózy a kukuřičného cukru. Po použití se nůž může vložit do kompostéru, kde se časem rozloží na H<sub>2</sub>O a CO<sub>2</sub> [54].

Půdní typy:



**Obrázek 14 Lesní půda - Hrabanka**

Hrabanka je typická pro lesní půdy. Jedná se o povrchovou vrstvu organického materiálu (jehličí, listí) [55].



**Obrázek 15 Prostředí kompostu**

Kompostová zemina vznikne rozkladem a přeměnou organických látek. Během tohoto odbourávání se zapojují mikroorganismy (červi, svinky). Z kompostu vzniká ideální hnojivo

pro nejsvrchnější části půdy. Je velmi bohatá na živiny, nehodí se jako spodní vrstva pro pěstování [56].

Zkoumaný kompost je pravidelně udržován díky biologickému přípravku P4. Bio P4 urychluje zrání kompostu a obsahuje směs bakterií, které rozkládají organické látky. Tímto přípravkem se kompost zalévá asi 2x do měsíce.



**Obrázek 16 Ornice**

Ornice je pravidelně obdělávaná svrchní vrstva půdy. Je antropogenního původu (přetvořena člověkem). Hloubka ornice je dle hloubky zpracování a obdělávání půdy, většinou do 30 cm. Půda je tmavší a obsahuje velké množství mikroorganismů [57].

Práce probíhala pouze v přírodních podmínkách na místě. Lokalita byla oblast Palkovických hůrek, nedaleko Frýdku Místku. Zkoumané plastové materiály byly nafoceny před zahrabáním zeminou a poté znovu po 7 týdnech po odkrytí zeminy.

## 6.2. Vyhodnocení

Na konci testu se ze země vykopaly plastové materiály a po důkladném očištění byly nafoceny. Poté se fotodokumentací porovnaly s původními.



Obrázek 17 Tesco taška před a po testu



Obrázek 18 Globus taška před a po testu





**Obrázek 19 Bio - plastový nůž před a po testu**

V půdních typech ornice a opadanky nebyl zaznamenán žádný biologický rozklad. Ke znatelnějšímu rozkladu došlo pouze v prostředí kompostu. Zde se začala pozvolna rozkládat taška GLOBUS (obr. 18) a bio-plastový nůž (obr. 19). U obou materiálů se začala ztrácet původní barva a u nože se objevily výrazné trhliny na povrchu. U tašky TESCO nedošlo k vůbec žádnému rozkladu. V prostředí kompostu je oproti ostatním prostředím výrazný výskyt mikroorganismů a vlhkost. Díky tomu, se zde materiály rozkládají nejrychleji.

## 7. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo ověření biologické rozložitelnosti vybraných plastových materiálů v půdním prostředí. Jediné prostředí, ve kterém došlo k určité degradaci, byl kompost. V tomto prostředí se vyskytuje nejvíce mikroorganismů a díky vyšším teplotám kompostu jsou tyto mikroorganismy schopny efektivněji rozkládat hmotu. V ostatních půdních typech nebyl u plastů zaznamenán proces biodegradace ani vizuálně. Je pravděpodobné, že zde hraje roli letošní velmi suchá a teplá zima. V porovnání s běžnými zimami v České republice, patřila tato k nejsušším a nejteplejším vůbec. Příčiny mají úzkou spojitost se zvýšeným jihozápadním prouděním, které nad střední Evropou většinu sezóny převládalo. Díky tomu zde byly letos málo vydatné srážky. Vliv na teplotu a množství srážek měl i závětrný efekt Alp, který ovlivní většinu zimy. Půda v letošní zimě téměř nepromrzla a nestihla se úplně zregenerovat. Je velmi pravděpodobné, že kdyby se tento test biodegradability vybraných plastů v půdním prostředí provedl v letních měsících, tak by proběhl efektivněji.

## 8. Seznam literatury

- [1] *Plasty: Jak na odpady a Životní prostředí* [online]. 2011 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.trideniodpadu.cz/trideniodpadu.cz/Plasty.html>
- [2] *Bio-plasty: Výhoda nejen pro přírodu* [online]. 2008 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=1094>
- [3] *Plasty: Druhy a možnosti využití* [online]. 2007 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.modding.cz/?p=68>
- [4] *Plasty: Umělá hmota* [online]. 2008 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Plast>
- [5] *Svět práce: Rozdělení plastů a jejich* [online]. 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://ucivozs.web.cz/plast2.html>
- [6] *Plasty: Recyklace plastů* [online]. 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Recyklace\\_plast%C5%AF](http://cs.wikipedia.org/wiki/Recyklace_plast%C5%AF)
- [7] *Třídění odpadu: Umělohmotná recyklace* [online]. 2011 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: [http://www.trideniodpadu.cz/trideniodpadu.cz/Jak\\_se\\_recykluje/Entries/2011/11/17\\_Jak\\_se\\_recykluji\\_plasty.html](http://www.trideniodpadu.cz/trideniodpadu.cz/Jak_se_recykluje/Entries/2011/11/17_Jak_se_recykluji_plasty.html)
- [8] *Jak třídit: Co se děje s plastovým obalem* [online]. 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.jaktridit.cz/cz/co-se-deje-s-odpadem/recyklace-a-vyuziti-plastu>
- [9] *Biodegradace: Praktické využití biodegradací* [online]. 2014. vyd. [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://fzp.ujep.cz/~trogl/1Mikr11Biodegradace.pdf>
- [10] GRIMA, Sophie. *Aerobic Biodegradation of Polymers in Solid-State Conditions: A Review of Environmental and Physicochemical Parameter Settings in Laboratory Simulations: Polymer Sciences* [online]. 2000-10-01 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1015297727244>

- [11] *Chemie a Životní prostředí: Doba plastová* [online]. 20.8.2009 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.ecmost.cz/chemie.php?page=clanky>
- [12] RABERG, Ulrika. International Biodeterioration & Biodegradation: Biodegradation and appearance of plastic treated solid wood. In: [online]. 2007 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830507001850>
- [13] *Odpady biodegradabilní: Sborník z mezinárodní konference konané v rámci 85. výročí založení univerzity Mendlovy [i.e. Mendelovy] zemědělské a lesnické univerzity v Brně*. Brno, 2004. ISBN 80-7157-790-1.
- [14] NISHIDA, H. *Distribution of poly( $\beta$ -hydroxybutyrate) and poly( $\epsilon$ -caprolactone) aerobic degrading microorganisms in different environments*: J. Environ. Polym. Degrad. 1993.
- [15] MERGAERT, J. *Biodiversity of microorganisms that degrade bacterial and synthetic polyesters*: J. Ind. Microbiol. 1996.
- [16] SUYAMA, Tetsushi. *Applied and Environmental Microbiology: Phylogenetic Affiliation of Soil Bacteria That Degrade Aliphatic Polyesters Available Commercially as Biodegradable Plastics*. In: [online] 1998. ISBN 5008-11. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC90957/>
- [17] AVÉROUS, Luc. *Environmental Silicate Nano-Biocomposites: Polylactide Degradation*. London, 2012. ISBN 978-1-4471-4101-3.
- [18] ANDO, T. *Degradation of polycaprolactone by a fungus*: J. Ferm. Technol. 1976.
- [19] Tokiwa Y, Suzuki T. Hydrolysis of polyesters by *Rhizopus delemar* lipase. Agric. Biol. Chem. 1978;42:1071–1072.
- [20] IWATA, T. *Morphology and enzymatic degradation of polysingle crystals*: Macromolecules. 1998.
- [21] PROKOPOVÁ, Irena. *Makromolekulární chemie.: VŠCHT*. 2. vyd. Praha, 2007. ISBN 978-80-7080-662-3.



- [22] BIKIARIS, Dimitrios. Polymer Degradation and Stability: Synthesis and comparative biodegradability studies of three poly(alkylene succinate) In: [online]. 2006 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391005002004>
- [23] IWAMOTO, Akira. Environmentally Degradable Polymers: Enzymatic degradation of plastics containing polycaprolactone. In: [online]. 1994 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0141391094901384>
- [24] KUMAGAI, Yoshiharu. Polymer Degradation and Stability: Enzymatic degradation and morphologies of binary blends of microbial poly(3-hydroxy butyrate) with poly( $\epsilon$ -caprolactone), poly(1,4-butylene adipate and poly(vinyl acetate). In: [online]. 1992 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/014139109290062A>
- [25] KOYAMA, Naoyuki Koyama. Polymer: Miscibility of binary blends of poly[(R)-3-hydroxybutyric acid] and poly[(S)-lactic acid]. In: [online]. 1997 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032386196006854>
- [26] KOYAMA, M. Polym. Mats.: Development of biodegradable plastics containing polycaprolactone. In: [online]. 1990 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2769161/#b72-ijms-10->
- [27] FUKUDA, K. Polymer Degradation and Stability: Biodegradable Plastics and Polymers. In: [online]. Amsterdam, 1994 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2769161/#b72-ijms-10->
- [28] PRANAMUDA, H. Environ. Polym. Degrad.: Physical properties and biodegradability of blends containing poly( $\epsilon$ -caprolactone) and tropical starches. In: [online]. 1996 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2769161/#b72-ijms-10->
- [29] BHATTACHARYA, Mrinal. European Polymer Journal: Effect of crystallinity on the mechanical properties of starch/synthetic polymer blends. In: [online]. 1997 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305796002169>
- [30] JANG, W.J. Thermal properties and morphology of biodegradable PLA/starch compatibilized blends. In: [online]. 2007 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2769161/#b72-ijms-10->

- [31] MÜLLER, R.J. J. Biotechnol: Degradation of natural and synthetic polyesters under anaerobic conditions. In: [online]. 2001 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11245900>
- [32] Časopis BIOM: Testování biodegradability [online]. 1997. vyd. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: [http://stary.biom.cz/clen/as/biodegr\\_test.html](http://stary.biom.cz/clen/as/biodegr_test.html)
- [33] *Soil quality -- Guidance on laboratory testing for biodegradation of organic chemicals in soil under aerobic conditions: ISO 11266*. 1994. Dostupné z: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=19244](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=19244)
- [34] *Plastics -- Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials in soil by measuring the oxygen demand in a respirometer or the amount of carbon dioxide evolved: ISO 17556*. 2012. Dostupné z: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=56089](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=56089)
- [35] *Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Materials in Soil: ASTM D5988 - 12*. 2014. Dostupné z: <http://www.astm.org/Standards/D5988.htm>
- [36] *Textiles -- Determination of the resistance of cellulose-containing textiles to micro-organisms -- Soil burial test -- Part 2: Identification of long-term resistance of a rot retardant finish: ISO 11721-2*. 2003. Dostupné z: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=38289](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=38289)
- [37] NARAYAN, Ramani. Studies in Polymer Science: Biodegradation and Composting Studies of Polymeric Materials. In: [online]. 1994 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444817082500725>
- [38] MOTE, C. Roland. Agricultural Wastes: A system for studying the composting process. In: [online]. 1979 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0141460779900192>
- [39] MÜLLER, R.J. Materia Organismen. In: [online]. 1992 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: [http://stary.biom.cz/clen/as/biodegr\\_test.html](http://stary.biom.cz/clen/as/biodegr_test.html)

- [40] ITÄVAARA, M. Chemosphere: A simple screening test for studying the biodegradability of insoluble polymers. In: [online]. 1995 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004565359500304Q>
- [41] WIDDECKE, H. Studies in Polymer Science: The Development and Modification of some Special Test Methods and the Progress in Standardisation of Test Methods in Germany. In: [online]. 1994 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444817082500245>
- [42] PAGGA, U. Chemosphere: Anaerobic biodegradation test for organic compounds. In: [online]. 1993 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004565359390244Y>
- [43] PAGGA, U. Low temperature melting: ShapeLock Hobby Plastic Forms Shapes at Low Temperatures. In: [online]. 2014 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.robotroom.com/Prototype-Plastic.html>
- [44] Mater-Bi - Bioplastica. In: [online]. 2011 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://materbi.com/mater-bi/>
- [45] SAWADA, Hideo. Polymer Degradation and Stability: ISO standard activities in standardization of biodegradability of plastics—development of test methods and definitions. In: [online]. 1998 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391097001912>
- [46] VÚT, BRNO. Vědci pro průmysl a praxi: Polymerní materiály a technologie zpracování polymerů. In: [online]. 2011 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391097001912>
- [47] LOMBARDO, Anna. Chemosphere: A new in silico classification model for ready biodegradability, based on molecular fragments. In: [online]. 2014 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653514003427>
- [48] REZGUI, F. Polymer: Deformation and damage upon stretching of degradable polymers (PLA and PCL). In: [online]. 2005 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032386105006877>

- [49] PADMAVATHIAMMA, Prabha K. Bioresource Technology: An experimental study of vermi-biowaste composting for agricultural soil improvement. In: [online]. 2008 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852407003720>
- [50] ROSHAN SINGH, W. Ecological Engineering: Potential for composting of green phumdi biomass of Loktak lake. In: [online]. 2014 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857414001463>
- [51] D'IMPORZANO, Giuliana. Science of The Total Environment: Biological compost stability influences odor molecules production measured by electronic nose during food-waste high-rate composting. In: [online]. 2008 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969708004786>
- [52] Rozložitelná taška: Globus. In: [online]. 2008 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: [http://www.globus.cz/cs/archiv-tiskovych-zprav.html/65\\_143-Globus-zavadi-ekologicky-rozlozitelne-plastove-tasky](http://www.globus.cz/cs/archiv-tiskovych-zprav.html/65_143-Globus-zavadi-ekologicky-rozlozitelne-plastove-tasky)
- [53] Plastová taška: Tesco. In: [online]. 2008 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.bio-info.cz/zpravy/tesco-nabizi-novou-recyklovatelnou-tasku>
- [54] Bio plastový příbor. In: [online]. 2010 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.bioplaneta.cz/bioplastove-pribory.html>
- [55] Půdní typ: Hrabanka. In: [online]. 2014 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: [http://www.cojeco.cz/index.php?detail=1&id\\_desc=34994&title=hrabanka&s\\_lang=2](http://www.cojeco.cz/index.php?detail=1&id_desc=34994&title=hrabanka&s_lang=2)
- [56] Zakládání kompostu. In: [online]. 2014 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.obi.cz/cz/navody/zahrada/zakladani-kompostu/index.html>
- [57] Druhy půd. In: [online]. 2010 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.keliwood.cz/aktuality/druhy-pudy-kyselost-pudy-humus-cervenec-dil-prvni>

## 9. Přílohy

### 9.1. Seznam obrázků

Obrázek 1 Přehled recyklačních značek .....	12
Obrázek 2 Lisování.....	14
Obrázek 3 Válcování .....	15
Obrázek 4 Vytlačování .....	15
Obrázek 5 Vyfukování.....	16
Obrázek 6 Tažení.....	16
Obrázek 7 Spotřeba energie na 1000eq sáčků .....	23
Obrázek 8 Celkový příspěvek k oteplování Země.....	24
Obrázek 9 Odvětrávaný systém Mater-Bi + odvětrávaný koš BioMat-Combi .....	25
Obrázek 10 Testování biodegradability.....	31
Obrázek 11 plastová taška Globus.....	35
Obrázek 12 plastová taška Tesco.....	36
Obrázek 13 Bio-plastový nůž .....	36
Obrázek 14 Lesní půda - Hrabanka .....	37
Obrázek 15 Prostředí kompostu .....	37
Obrázek 16 Ornice.....	38
Obrázek 17 Tesco taška před a po testu .....	39
Obrázek 18 Globus taška před a po testu .....	39

Obrázek 19 Bio - plastový nůž před a po testu .....	40
---	----

## **9.2. Seznam tabulek**

Tabulka 1 Dělení plastů dle teplotního zpracování .....	13
---	----